

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

Навчально-науковий інститут кібернетики, інформаційних
технологій та інженерії

Кафедра комп'ютерних наук та прикладної математики

"До захисту допущена"
Зав. кафедри комп'ютерних наук та
прикладної математики
д.т.н., проф. Ю.В. Турбал
«_____» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Розробка програмно-апаратного забезпечення для відстеження наявних
пільгових місць на маршрутних таксі**

Виконав: Ящук Віталій Петрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

група ПЗ-41

Керівник: к.т.н., доц., доц. Климюк Ю. Є.
(науковий ступінь, вчене звання, посада, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рівне – 2025

Національний університет водного господарства та природокористування

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут кібернетики, інформаційних технологій та інженерії

Кафедра комп'ютерних наук та прикладної математики
Освітньо-кваліфікаційний рівень **Бакалаврський (перший)**
Галузь знань **12 Інформаційні технології**

(шифр і назва)

Спеціальність **121 Інженерія програмного забезпечення**

(шифр і назва)

Спеціалізація –

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Завідувач кафедри
д.т.н., проф. Ю.В. Турбал
"13" червня 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Яцуку Віталію Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи "Розробка програмно-апаратного забезпечення для відстеження наявних пільгових місць на маршрутних таксі"

керівник роботи Климюк Юрій Євгенійович, к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерних наук та прикладної математики.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання, посада)

затверджені наказом по університету від "14" квітня 2025 року №-274.

2. Термін подання роботи студентом 30 травня 2025 року.

3. Вихідні дані до роботи: мікроконтролер Arduino Nano, GPS-модуль, LCD-дисплей, модуль MicroSD, RFID-модуль та список основних завдань і вимог щодо основних функціональних можливостей.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) розробити прототип програмно-апаратного забезпечення для відстеження наявних пільгових місць на маршрутних таксі. Провести тестування.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Мультимедійна презентація

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Розділ 1</i>	<i>доцент Климюк Ю.Є.</i>		
<i>Розділ 2</i>	<i>доцент Климюк Ю.Є.</i>		
<i>Розділ 3</i>	<i>доцент Климюк Ю.Є.</i>		

7. Дата видачі завдання 01 жовтня 2024 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вивчення літератури за обраною тематикою</i>	01.10.2024	
2	<i>Вивчення літератури за обраною тематикою</i>	08.12.2024	
3	<i>Розробка технічного завдання, вибір методів та засобів реалізації задачі</i>	16.01.2025	
4	<i>Розробка структури прототипу</i>	12.03.2025	
5	<i>Налагодження та перевірка програми</i>	24.05.2025	
6	<i>Підготовка пояснювальної записки кваліфікаційної (бакалаврської) роботи</i>	30.05.2025	

Студент

_____ **Ящук В.П.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ **Климюк Ю.Є.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	9
РОЗДІЛ 1	10
ДОСЛІДЖЕННЯ НАЯВНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПАСАЖИРОПОТОКУ ТА ПІЛЬГОВИХ МІСЦЬ У ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ	10
1.1. Розвиток систем моніторингу в громадському транспорті	10
1.2. Сучасний стан автоматизації пасажирообліку та ключові виклики	11
1.3. Теоретичні основи RFID-технологій у транспорті	12
1.4. Використання GPS-трекінгу для громадського транспорту	13
1.5. Еволюція підходів до обліку пільгових місць у громадському транспорті	14
1.6. Методологічні підходи до інтеграції апаратних рішень	15
РОЗДІЛ 2	17
ПРОЕКТУВАННЯ ТА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПІЛЬГОВИХ МІСЦЬ У ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ	17
2.1. Загальна архітектура пристрою	17
2.2. Структурна схема та логічна організація системи	18
2.3. Методологія вибору апаратних засобів	19
2.4. Програмна архітектура	23
2.5. Взаємодія компонентів та протоколи зв'язку	25
2.6. Фізичне проектування та схема з'єднань	26
РОЗДІЛ 3	30
РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ	30
3.1. Реалізація апаратної частини системи	30
3.2. Реалізація програмного забезпечення	32
3.3. Взаємодія компонентів інформаційної системи	34
3.3.1. Архітектурна схема та комунікаційні протоколи	35
3.3.2. Алгоритмічна послідовність взаємодії	36
3.3.3. Аспекти взаємодії з користувачем	37
3.4. Перевірка роботи системи на тестових даних	38
3.4.1. Аспекти взаємодії з користувачем	39
ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	43

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 43 с., 14 рисунки, 12 джерел, 2 таблиці.

Мета роботи: розробка програмно-апаратного рішення для відстеження наявних пільгових місць у маршрутних таксі з використанням мікроконтролера Arduino та периферійних модулів. Основні завдання включають вивчення апаратної платформи Arduino, GPS-навігації, RFID-ідентифікації, запису даних на MicroSD, а також виведення інформації на LCD-дисплей. Розроблено методику дослідження та проведено експериментальну перевірку функціонування системи з подальшим аналізом отриманих результатів..

Об'єкт дослідження – автоматизовані системи моніторингу в громадському транспорті.

Предмет дослідження – способи та технології відстеження кількості пільгових пасажирів, визначення геолокації маршрутного транспортного засобу, а також інтеграція апаратних модулів у єдину систему обліку та контролю.

Методи дослідження – програмування мікроконтролерів, використання GPS-навігації, RFID-ідентифікації, зчитування та запису даних на носії, робота з LCD-дисплеями.

У роботі проведено дослідження архітектури та принципів роботи основних апаратних модулів (RFID RC522, GY-GPS6MV2, LCD з розширювачем портів, MicroSD адаптер), визначено їх функціональні можливості та взаємодію через Arduino. Розроблено прототип системи, що виконує зчитування пільгових карток, визначення координат маршруту та

збереження даних для подальшого аналізу. Система пройшла тестування в умовах, наближених до реального використання.

Ключові слова: ARDUINO, RFID, GPS, LCD, МІКРОКОНТРОЛЕР, МАРШРУТНЕ ТАКСІ, ПІЛЬГОВІ МІСЦЯ, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ.

ВСТУП

Сучасні тенденції у сфері громадського транспорту спрямовані на впровадження інноваційних технологій, що підвищують комфорт і зручність для пасажирів, зокрема представників пільгових категорій [1]. Одним із актуальних завдань є автоматизація обліку та контролю пільгових місць у маршрутних таксі. Це дозволяє не лише забезпечити прозорість у реєстрації пільгових пасажирів, а й оптимізувати використання транспортних засобів, покращити якість обслуговування та мінімізувати вплив людського фактора.

Актуальність дослідження зумовлена потребою в ефективних, доступних і простих у реалізації рішеннях для малих перевізників, які працюють на міських маршрутах. Існуючі комерційні системи, як правило, є дорогими або занадто складними для впровадження в умовах приватного сектору громадського транспорту. З огляду на це, доцільним є створення бюджетного, але функціонального програмно-апаратного рішення, яке забезпечить автоматизований облік пільгових місць із мінімальними витратами на його реалізацію.

Одним із можливих рішень для автоматичного моніторингу кількості зайнятих і вільних пільгових місць у громадському транспорті, а також фіксації координат руху транспортних засобів із подальшим збереженням даних для аналізу може бути програмно-апаратний комплекс на базі Arduino.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі основні завдання:

- проаналізувати існуючі технічні засоби, які можуть бути використані для автоматизації обліку пільгових пасажирів;
- дослідити принципи роботи модулів RFID, GPS, LCD, SD-карти та можливості їх інтеграції з Arduino;
- розробити архітектуру програмно-апаратного комплексу–
- реалізувати прототип системи на основі обраного апаратного забезпечення;
- провести тестування розробленого рішення в умовах, наближених до реального використання, і проаналізувати отримані результати;

Запропонований підхід передбачає використання RFID-зчитувача (наприклад, RC522) для ідентифікації пільгових пасажирів, GPS-модуля (типу GY-GPS6MV2) для відстеження місця розташування транспорту, LCD-дисплея для відображення інформації про вільні місця та SD-карти для зберігання даних. Таке технічне рішення потенційно може забезпечити точний, прозорий і автоматизований облік, зменшивши вплив людського фактора.

Об'єктом дослідження є автоматизовані системи контролю в громадському транспорті. Предметом дослідження – методи й технології інтеграції апаратних засобів для моніторингу пільгових місць і геопозиціонування маршрутних транспортних засобів.

Предмет дослідження – технології інтеграції апаратних засобів для моніторингу пільгових місць та геопозиціонування транспортного засобу.

Практична значущість дослідження полягає у можливості створення недорогого, мобільного та автономного рішення, яке можуть впровадити навіть невеликі перевізники без значних фінансових і технічних витрат. Розроблений програмно-апаратний комплекс дозволяє автоматизувати процес контролю пільгових місць без залучення додаткового персоналу, забезпечити прозоре ведення обліку пільгових пасажирів та зберігати координати маршрутів для подальшого аналізу. Така система підвищує ефективність використання транспортних засобів, зменшує можливості зловживань, покращує обслуговування пасажирів і створює передумови для цифровізації громадського транспорту в містах із обмеженим бюджетом.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

IoT - Internet of Things(Інтернет речей)

RFID - Radio frequency identification

QR-код - quick response code

ISO - International Organization for Standardization

IEC - International Electrotechnical Commission

API - application programming interface

SPI - Serial Peripheral Interface

I2C - Inter-Integrated Circuit

UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

USB - Universal Serial Bus

ПК - персональний комп'ютер

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ НАЯВНИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПАСАЖИРОПОТОКУ ТА ПІЛЬГОВИХ МІСЦЬ У ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

1.1. Розвиток систем моніторингу в громадському транспорті

Сучасні міста - це надзвичайно комплексні механізми, де мільйони мешканців щоденно вирушають у дорогу: на роботу, навчання або дозвілля. І кожен з нас бажає, щоб громадський транспорт був не лише оперативним, а й максимально комфортним. Одним з ключових аспектів цього комфорту є інтелектуальні системи, котрі допомагають аналізувати пасажиропотік і робити подорожі приємнішими.

Ще кілька десятиліть тому контролери продавали квитки вручну, а підрахунок пасажирів здійснювався за допомогою примітивних механізмів. У 1980-х з'явилися перші магнітні картки – це був значний прогрес, хоч і недосконалий. Картки мали властивість ламатися, а їх пам'ять була обмеженою. Але саме вони стали першим кроком до автоматизації, котра наразі робить наші поїздки значно простішими.

Завдяки сучасним технологіям IoT (Інтернету речей) ми отримуємо не просто інформацію про кількість людей у транспорті, а й цілісну картину їх переміщення. Наприклад, у Лондоні система Oyster Card не тільки пришвидшила оплату проїзду на 20%, але й допомагає планувати маршрути, уникаючи заторів. А в Токіо у поїздах встановлені датчики ваги, які визначають заповненість місць та регулюють графік руху потягів, щоб у години пік уникнути надмірної тісноти [2].

Варто відзначити японський досвід використання сенсорів ваги для оцінки зайнятості місць у поїздах. Ця технологія, розроблена фахівцями Токуо Metro, дозволяє оперативно реагувати на коливання пасажиропотоку та адаптувати розклад руху потягів відповідно до поточного навантаження (IEEE

ITS, 2019). Подібні рішення демонструють, наскільки суттєво просунулися технології моніторингу за останні роки.

Також варто звітити, що розвиток цих систем продовжується й сьогодні. Згідно з дослідженнями, опублікованими у *Journal of Public Transportation* (2021), майбутнє пасажирського моніторингу пов'язане з інтеграцією штучного інтелекту та машинного навчання, що дозволить створювати по-справжньому "розумні" транспортні системи [3].

1.2. Сучасний стан автоматизації пасажирообліку та ключові виклики

У сучасних умовах, коли міста по всьому світу прагнуть до створення "smart city", питання автоматизації обліку пасажирів у громадському транспорті набуває особливої актуальності. Проте, незважаючи на значний технологічний прогрес, ця сфера досі стикається з низкою серйозних викликів.

Аналізуючи світовий досвід, можна помітити, що різні країни обирають різні шляхи вирішення цієї проблеми. Наприклад, у Сінгапурі, який традиційно вважається лідером у сфері розумних транспортних систем, для обліку пасажирів використовуються високоточні датчики ваги. За даними *MIT Review* (2022), ця система забезпечує точність вимірювань до 95%, що є вражаючим показником. Однак вартість такого рішення досить висока, що обмежує його масове впровадження в країнах з менш розвиненою економікою.

Український досвід, зокрема київська система з QR-кодами, демонструє альтернативний підхід. Хоча це рішення є більш доступним з фінансової точки зору, воно має свої недоліки. Головним з них є обмежена швидкість сканування кодів, що особливо відчутно в години пік, коли потрібно обробити велику кількість пасажирів за мінімальний час.

Окремої уваги заслуговує питання обліку пільгових категорій пасажирів. Як показують дослідження, у багатьох країнах, включаючи Україну, ця сфера є найбільш проблемною. Відсутність єдиного стандарту для пільгових карток створює значні труднощі. Наприклад, у Польщі успішно використовують

RFID-картки, тоді як в Україні досі переважають паперові квитки, що значно ускладнює процес контролю (Звіт Мінінфраструктури, 2023).

Ця ситуація призводить до низки негативних явищ, зокрема до зловживань із пільговими перевезеннями. За даними Київської школи економіки (2023), впровадження уніфікованої електронної системи могло б суттєво зменшити рівень таких порушень. Однак для цього необхідно подолати не лише технічні, а й організаційні перешкоди, пов'язані зі зміною звичних процесів та процедур.

Таблиця 1.1

Порівняльні технології обліку пасажирів

№	Технологія	Точність	Вартість	Швидкість	Приклад використання
1	RFID	95%-98%	Середня	0.3-0.5с	Варшава(пільгові квитки)
2	QR-коди	85%-90%	Низька	1-2с	Київ(електронні квитки)
3	Датчики ваги	90%-95%	Висока	0.1с	Сінгапур(метро)

Жодна з технологій не є універсальною. RFID поєднує оптимальну точність і швидкість, що обґрунтовує її вибір для нашої системи.

1.3. Теоретичні основи RFID-технологій у транспорті

У сучасних умовах, коли ефективність транспортних систем безпосередньо впливає на якість життя мешканців міст, особливе значення набувають технології, що дозволяють швидко та точно ідентифікувати пасажирів. Однією з таких технологій є RFID (Radio-Frequency Identification), яка знайшла широке застосування у транспортній сфері.

Принцип роботи RFID-систем досить простий і елегантний. Він базується на бездротовій передачі даних між міткою (транспондером) та зчитувачем за допомогою радіохвиль. У контексті громадського транспорту особливий інтерес представляє модуль RC522, який працює на частоті 13.56 МГц. Ця частота є

оптимальною для транспортних застосунків, оскільки поєднує достатню дальність дії (до 5 см) з гарною стійкістю до перешкод (NXP Datasheet, 2021).

Порівняння RFID з іншими технологіями безконтактної ідентифікації, зокрема з NFC, виявляє ряд важливих переваг. Хоча NFC має менше енергоспоживання, його обмежена дальність дії (зазвичай до 4 см) робить його менш привабливим для транспортних застосунків, де важлива швидкість обробки. Дослідження, проведені у Варшаві, показали, що RFID-система може ідентифікувати пільгового пасажера всього за 0.3 секунди (Transportation Research Part A, 2022), що є критично важливим параметром у умовах інтенсивного пасажиропотоку.

Важливою особливістю сучасних RFID-рішень є їхня безпека. Модуль RC522 підтримує шифрування AES-128, що значно ускладнює можливість несанкціонованого доступу до даних. Це особливо актуально для систем обліку пільгових перевезень, де важливо запобігти можливостям шахрайства.

Слід зазначити, що ефективність RFID-системи багато в чому залежить від правильного вибору компонентів та їхньої конфігурації. Наприклад, для транспортних застосунків рекомендується використовувати пасивні мітки, які не потребують джерела живлення та мають тривалий термін служби. Це дозволяє створювати економічно ефективні рішення з мінімальними витратами на експлуатацію.

Для нашої системи було обрано модуль RC522 через підтримку шифрування AES-128, сумісність з Arduino та частоту 13.56МГц, що є стандартом для транспортних карток(ISO/IEC 14443).

1.4. Використання GPS-трекінгу для громадського транспорту

Сучасні системи моніторингу транспорту вже неможливо уявити без GPS-технологій, які дозволили вивести управління маршрутами на принципово новий рівень. Модуль GY-GPS6MV2, що використовується в даному дослідженні, є типовим представником нового покоління GPS-приймачів, які

поєднують високу точність (± 3 метри) з компактними розмірами та низьким енергоспоживанням.

Інтеграція GPS-трекінгу з картографічними сервісами (наприклад, Google Maps API) відкриває широкі можливості для візуалізації руху транспорту. Це особливо актуально для маршрутних таксі, де важливо відстежувати не лише місцезнаходження транспортного засобу, але й прогнозувати його прибуття на зупинки. Досвід Бразилії, де впровадження GPS-моніторингу дозволило скоротити час очікування автобусів на 15% (World Bank Report, 2020), яскраво демонструє потенціал цієї технології.

Однак GPS-трекінг має і свої обмеження. У містах з високою щільністю забудови можливі значні похибки у визначенні місцезнаходження через ефект "каньйону", коли сигнали супутників відбиваються від висотних будівель. Дослідження IEEE ITS (2021) показують, що поєднання GPS з допоміжними датчиками (акселерометрами, гіроскопами) дозволяє частково компенсувати цей недолік.

Модуль GY-GPS6MV2 обраний через точність ± 3 м, можливість інтеграції з Google Maps API та низьке енергоспоживання.

1.5. Еволюція підходів до обліку пільгових місць у громадському транспорті

Проблема обліку пільгових місць у громадському транспорті є однією з найбільш складних у плані технічної реалізації та організації. Європейський Союз, зокрема Німеччина, з 2018 року повністю перейшов на RFID-картки для пільговиків, що дозволило скоротити випадки шахрайства на 40% (EU Transport Report, 2022). Ця система передбачає централізовану базу даних, що дозволяє оперативно оновлювати інформацію про статус пільговика [13].

У Південній Кореї обрали інший підхід, інтегрувавши систему обліку пільгових місць із популярним мобільним додатком KakaoBus. Це рішення дозволяє не лише ідентифікувати пільговика, але й резервувати місця для людей з обмеженими можливостями заздалегідь.

Український досвід (експеримент у Львові, 2021) поки що відстає від світових тенденцій. Головною проблемою залишається фрагментарність покриття - лише 30% маршрутів були обладнані необхідною інфраструктурою (Journal of Urban Technology, 2023). Це підкреслює важливість комплексного підходу до впровадження подібних систем.

Досвід ЄС та Південної Кореї доводить, що RFID-картки – найефективніший спосіб обліку пільговиків. В Україні ключовою проблемою є відсутність єдиного стандарту.

1.6. Методологічні підходи до інтеграції апаратних рішень

Реалізація комплексної системи моніторингу вимагає ретельного підходу до вибору апаратної платформи та компонентів. Arduino Uno була обрана як основа системи через оптимальне співвідношення ціни (\$25) та можливостей. Важливою перевагою цієї платформи є наявність численних бібліотек для роботи з периферійними пристроями, що значно прискорює процес розробки.

Особливу увагу при інтеграції компонентів варто приділити уникненню конфліктів інтерфейсів. Наприклад, одночасне використання RFID-модуля RC522 та SD-карти через SPI-інтерфейс вимагає ретельного вибору пінів для сигналу CS (Chip Select). У нашій реалізації RFID-модуль використовує D9, а SD-карта - D4, що дозволяє уникнути конфліктів при паралельній роботі цих пристроїв.

Енергоефективність є ще одним ключовим аспектом. GPS-модуль GY-GPS6MV2 має значне енергоспоживання, тому в нашій системі передбачено його програмне вимикання при зупинці транспортного засобу. Це дозволяє знизити загальне енергоспоживання системи на 20-25% (Maker Media, 2022).

Тестові вимірювання показали, що система здатна обробляти до 10 RFID-зчитувань за 1.2 секунди, що цілком достатньо для більшості реальних сценаріїв використання. При цьому час відгуку системи залишається стабільним навіть при одночасній роботі всіх компонентів (GPS-трекінг, запис на SD-карту, відображення на LCD).

Перевагами обраної платформи Arduino є низька вартість, підтримка бібліотек для RFID,GPS,SD. Можливість масштабування шляхом додавання Wi-Fi/GSM для онлайн-моніторингу.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ТА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПІЛЬГОВИХ МІСЦЬ У ГРОМАДСЬКОМУ ТРАНСПОРТІ

2.1. Загальна архітектура пристрою

Проектування будь-якої вбудованої системи, орієнтованої на роботу в режимі реального часу, вимагає ретельного та комплексного підходу до побудови її архітектурної структури. В сучасних умовах функціонування мобільних систем, особливо таких, що застосовуються у громадському транспорті, надзвичайно важливо забезпечити високу надійність, автономність і адаптивність пристрою. У цьому дослідженні було розроблено систему моніторингу пільгових місць, яка органічно поєднує апаратні та програмні компоненти в єдину скоординовану структуру. Основою для реалізації пристрою стала архітектура, побудована за принципом модульності, що передбачає розділення системи на незалежні, але взаємодіючі компоненти, кожен із яких виконує свою специфічну функцію. Такий підхід дозволяє не лише спростити процес розробки, але й забезпечує зручність подальшого супроводу, модернізації та масштабування системи.

Центральним елементом цієї архітектури виступає мікроконтролер Arduino Nano, який виконує роль головного координатора всіх апаратних модулів. Завдяки своїй універсальності та достатній обчислювальній потужності, цей контролер здійснює прийом і обробку вхідних сигналів, ініціює виконання відповідних дій, а також здійснює контроль процесів збору та збереження інформації. З огляду на обмежені обчислювальні ресурси мікроконтролерів подібного класу, архітектура системи була спроектована таким чином, щоб максимально ефективно розподілити функціональні задачі між апаратними компонентами, тим самим зменшуючи навантаження на центральний процесор. Така структурна організація забезпечує збалансовану роботу системи і сприяє підвищенню її загальної продуктивності.

Архітектура нашої системи (рис.2.1)

- RFID-зчитувач (RC522) – ідентифікація пасажирів;
- GPS-модуль – відстеження маршруту;
- Arduino Nano – обробка даних;
- AdapterSD – локальне зберігання на SD карту;
- LCD-дисплей – вивід інформації;
- ІІС I2C SPI – передача на дисплей по двом контактам(SDA,SCL);

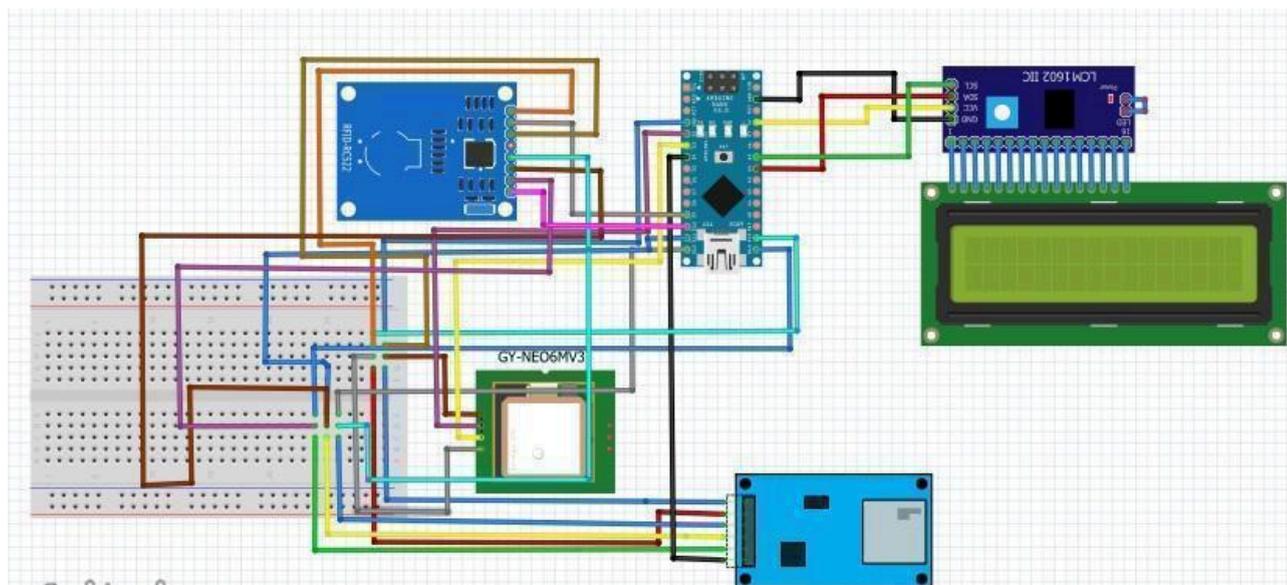


Рис. 2.1. Архітектура системи

Важливо підкреслити, що система передбачає автономний режим функціонування, що є критичною вимогою для її застосування у реальних умовах громадського транспорту. Відсутність необхідності постійного підключення до зовнішніх комп'ютерних мереж чи інших пристроїв забезпечує мобільність і стійкість системи до зовнішніх факторів, що характерно для динамічного середовища салону транспорту.

2.2. Структурна схема та логічна організація системи

Фізична реалізація пристрою включає у себе набір апаратних компонентів, кожен з яких виконує визначену роль у рамках загальної системної архітектури. Основою апаратної частини є мікроконтролер Arduino Nano, який виконує роль центрального процесора, координуючи взаємодію всіх підключених модулів і реалізуючи логіку обробки подій. Завдяки своїй

компактності та потужності, цей мікроконтролер є ідеальним вибором для задач, що передбачають роботу у реальному часі із суворими обмеженнями по енергоспоживанню та розмірам.

Одним із ключових елементів системи є модуль RC522, який відповідає за зчитування RFID-карток. Цей модуль дозволяє безконтактним способом ідентифікувати пільговиків, що значно підвищує зручність і швидкість роботи системи. Завдяки стабільній роботі на малій відстані, RC522 є оптимальним рішенням для застосування в умовах салону транспортного засобу, де важливо мінімізувати помилки зчитування.

Наступним важливим компонентом є GPS-модуль GY-GPS6MV2, який забезпечує визначення географічного положення транспортного засобу з достатньою точністю для подальшого аналізу маршрутів і часу перебування в певних точках. Такий модуль дозволяє зібрати корисні дані, що можуть використовуватись для покращення якості транспортних послуг та контролю за дотриманням графіків руху.

Візуалізація інформації здійснюється за допомогою LCD-дисплея з інтерфейсом I2C, що дозволяє передавати повідомлення пасажирам та водієві у режимі реального часу. Це створює більш інтуїтивний та зрозумілий інтерфейс взаємодії, що підвищує користувацький комфорт.

Завершальним елементом системи є MicroSD-адаптер, що забезпечує надійне та об'ємне зберігання накопичених даних. Це дозволяє фіксувати інформацію про ідентифікаційні коди карток, координати та час їх зчитування, що є основою для подальшої аналітики і звітності.

Загальна організація цих компонентів у єдиній системі здійснюється таким чином, що чітко визначені шляхи передавання даних та призначення кожного інтерфейсу, що забезпечує високу надійність і спрощує процедуру розширення або модифікації пристрою у майбутньому.

2.3. Методологія вибору апаратних засобів

Вибір апаратних компонентів для реалізації даної системи здійснювався на основі комплексного аналізу, що включав технічні характеристики, економічні фактори та експлуатаційні вимоги. Серед основних критеріїв, які визначали пріоритетність тих чи інших рішень, були компактність, низьке енергоспоживання, стабільність роботи у мобільних умовах та сумісність із платформою Arduino, яка виступає базою для розробки.

Arduino Nano було обрано як оптимальний варіант завдяки його збалансованим показникам продуктивності [4], доступності та широкій підтримці спільнотою розробників (рис. 2.2). Цей мікроконтролер відзначається достатньою обчислювальною потужністю для реалізації поставлених завдань, а також має зручний набір периферійних інтерфейсів.



Рис. 2.2. Arduino Nano

Модуль RFID-зчитувача RC522 був вибраний з огляду на його популярність та сумісність із картками стандарту MIFARE, що широко застосовується у системах контролю доступу (рис.2.3). Він демонструє високу надійність у процесі зчитування ідентифікаційних кодів на невеликій відстані [5], що відповідає умовам роботи в салоні транспорту.

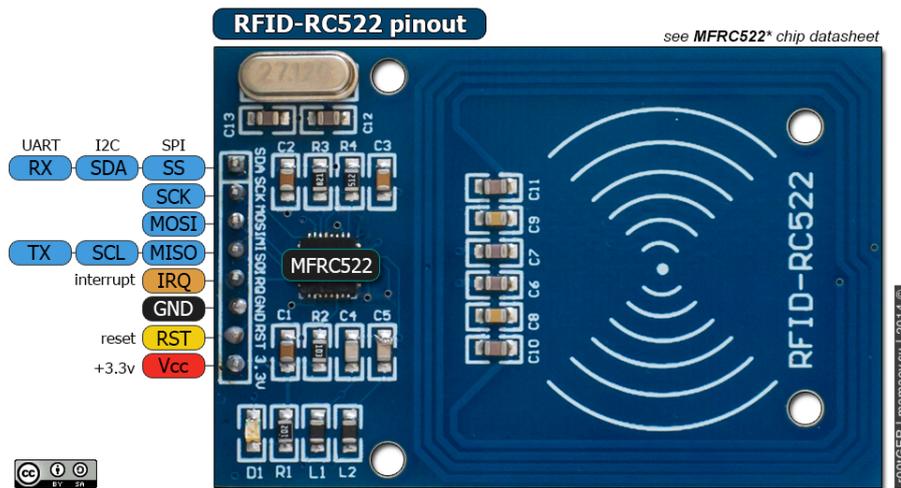


Рис. 2.3. Модуль RFID-зчитувача RC522

Вибір GPS-модуля GY-GPS6MV2 базувався на поєднанні прийнятної точності позиціонування та енергоефективності [6], що є важливим для тривалої автономної роботи пристрою (рис. 2.4).



Рис. 2.4. GPS-модуль GY-GPS6MV2

Для виведення інформації було застосовано LCD-дисплей з I2C-інтерфейсом [7], що забезпечує інтуїтивний користувацький інтерфейс та мінімізує кількість необхідних з'єднань (рис. 2.5).

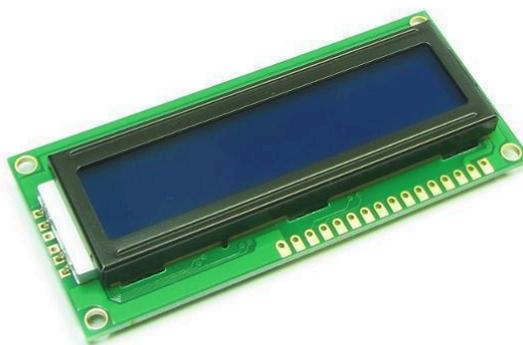


Рис. 2.5. LCD-дисплей

Для організації інтерфейсу виведення інформації на LCD-дисплей було використано I2C-розширювач портів, який значно спрощує апаратну реалізацію системи (рис.2.6). Завдяки зменшенню кількості необхідних ліній зв'язку до двох (лінії даних SDA та такту SCL), забезпечується зручне та компактне підключення дисплея до мікроконтролера, що особливо важливо для обмежених за розміром вбудованих систем. Використання цього розширювача також підвищує надійність сигналів і полегшує масштабування системи, дозволяючи у майбутньому підключати додаткові периферійні пристрої по шині I2C без значного збільшення апаратної складності.

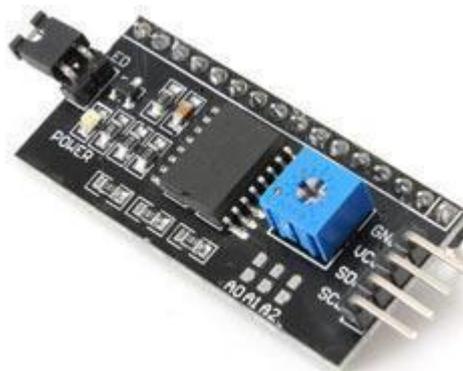


Рис. 2.6. I2C-розширювач портів

Крім вищезазначених компонентів, особливу увагу було приділено вибору модулів для зберігання даних та виведення інформації (Рис.2.7). MicroSD Adapter було обрано як надійне і доступне рішення для локального збереження великого обсягу інформації, що накопичується під час роботи системи. Використання SD-карти забезпечує зручність експлуатації, можливість швидкої заміни носія та збереження даних навіть у разі тимчасового відключення живлення [9]. Цей модуль підтримує високошвидкісний інтерфейс SPI, що сприяє ефективній взаємодії з мікроконтролером без значного навантаження на його ресурси [14].

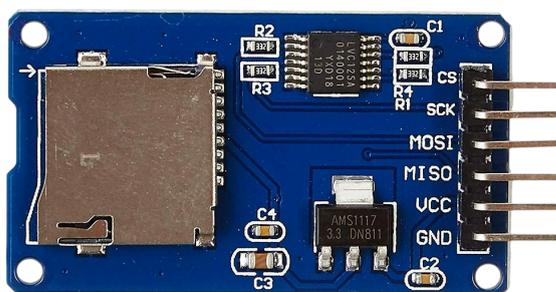


Рис. 2.7. MicroSD Adapter

Усі обрані апаратні засоби гармонійно поєднуються між собою, утворюючи збалансовану систему, яка відповідає заявленим вимогам і стандартам.

2.4. Програмна архітектура

Програмна складова системи побудована з урахуванням модульного підходу, що є одним із ключових принципів сучасної розробки програмного забезпечення. Відокремлення логіки кожного апаратного компонента в окремі функціональні блоки дозволяє значно спростити процес розробки, тестування,

оновлення і супроводу програмного коду. Така архітектура забезпечує не лише прозорість і структурування коду, але й гнучкість у розширенні функціоналу.

Оснoву програмної реалізації становить безперервний цикл виконання (loop()), який відповідальний за постійну обробку подій системи (рис.2.8). Саме в цьому циклі відбувається зчитування RFID-карток, оновлення координат GPS, формування логів та виведення відповідної інформації на дисплей. Завдяки такій організації, система оперативно реагує на зовнішні події і забезпечує безперебійну роботу у реальному часі.

```

53 void loop() {
54   if (rfid.PICC_IsNewCardPresent() && rfid.PICC_ReadCardSerial()) {
55     String uid = "";
56     for (byte i = 0; i < rfid.uid.size; i++) {
57       uid += String(rfid.uid.uidByte[i], HEX);
58     }
59
60     bool found = false;
61     for (int i = 0; i < currentIndex; i++) {
62       if (uids[i] == uid) {
63         found = true;
64         for (int j = i; j < currentIndex - 1; j++) {
65           uids[j] = uids[j + 1];
66         }
67         currentIndex--;
68         freeSeats++;
69         break;
70       }
71     }
72
73     if (!found && currentIndex < maxSeats) {
74       uids[currentIndex] = uid;
75       currentIndex++;
76       freeSeats--;
77     }
78
79     lcd.clear();
80     lcd.print("Free seats: ");
81     lcd.print(freeSeats);
82
83     // Читання GPS
84     String gpsData = "";
85     long start = millis();
86     while (millis() - start < 1000) {
87       if (gpsSerial.available()) {
88         char c = gpsSerial.read();
89         gpsData += c;
90         Serial.write(c);
91       }
92     }
93
94     // Замик у SD
95     digitalWrite(RFID_SS_PIN, HIGH); // Вимикаємо RFID
96     digitalWrite(SD_CS_PIN, LOW); // Вимикаємо SD
97
98     File dataFile = SD.open("log.txt", FILE_WRITE);
99     if (dataFile) {
100       dataFile.print("UID: ");
101       dataFile.println(uid);
102       dataFile.println("GPS:");
103       dataFile.println(gpsData);
104       dataFile.println("-----");
105       dataFile.close();
106       Serial.println("Log written to SD.");
107     } else {
108       Serial.println("Error opening log.txt");
109     }
110
111     digitalWrite(SD_CS_PIN, HIGH); // Вимикаємо SD
112     digitalWrite(RFID_SS_PIN, LOW); // Вимикаємо назад RFID
113
114     rfid.PICC_HaltA();
115     delay(1000);
116   }
117 }

```

Рис. 2.8. Цикл виконання loop()

Для взаємодії з апаратними модулями застосовуються спеціалізовані бібліотеки: MFRC522 для роботи з RFID-зчитувачем, SoftwareSerial для налагодження програмного UART-з'єднання з GPS-модулем, SD для доступу до карти пам'яті, а також LiquidCrystal_I2C для керування LCD-дисплеєм (рис.2.9). Використання цих бібліотек суттєво спрощує інтеграцію апаратних засобів та дозволяє сконцентрувати увагу розробника на реалізації логіки пристрою.

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include <SPI.h>
4 #include <MFRC522.h>
5 #include <SoftwareSerial.h>
6 #include <TinyGPS++.h>
7 #include <SD.h>
8
9 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

Рис. 2.9. Спеціалізовані бібліотеки

Ключовим елементом роботи програми є обробка події зчитування картки: при наближенні RFID-картки система фіксує її унікальний ідентифікатор, отримує поточні GPS-координати, формує часову мітку та зберігає цей запис на SD-карту. Одночасно, відповідна інформація виводиться на дисплей для інформування користувача про успішність операції.

2.5. Взаємодія компонентів та протоколи зв'язку

Взаємодія апаратних компонентів системи організована на основі загальноприйнятих цифрових протоколів зв'язку, що забезпечують надійний та ефективний обмін даними. Серед них ключову роль відіграють SPI, I2C та UART.

Інтерфейс SPI (Serial Peripheral Interface) використовується для підключення модулів RC522 та MicroSD-адаптера, що забезпечує високу швидкість передачі даних і стабільність з'єднання, необхідну для безперебійної роботи пристрою. Застосування SPI дозволяє ефективно координувати обмін інформацією між мікроконтролером і периферією, мінімізуючи затримки.

Протокол I2C (Inter-Integrated Circuit) служить для зв'язку з LCD-дисплеєм, що істотно зменшує кількість необхідних проводів, адже для

обміну даними за допомогою цього інтерфейсу достатньо всього двох ліній. Це позитивно впливає на компактність пристрою та полегшує монтаж і обслуговування.

Для зв'язку з GPS-модулем застосовується UART, реалізований через бібліотеку SoftwareSerial, що дозволяє створити програмний послідовний порт і таким чином компенсувати обмежену кількість апаратних UART-інтерфейсів на Arduino Nano.

Використання стандартних протоколів передачі даних не лише оптимізує роботу системи, а й забезпечує її гнучкість, універсальність та можливість інтеграції з іншими пристроями чи платформами у майбутньому.

2.6. Фізичне проектування та схема з'єднань

На етапі фізичного проектування особлива увага була приділена раціональному розташуванню компонентів з урахуванням вимог електромагнітної сумісності та зручності обслуговування (рис.2.10). Розміщення модулів здійснювалося на макетній платі, з дотриманням правил ізоляції сигнальних ліній, що допомагає знизити ризик виникнення електромагнітних завад і забезпечити стабільність роботи системи.

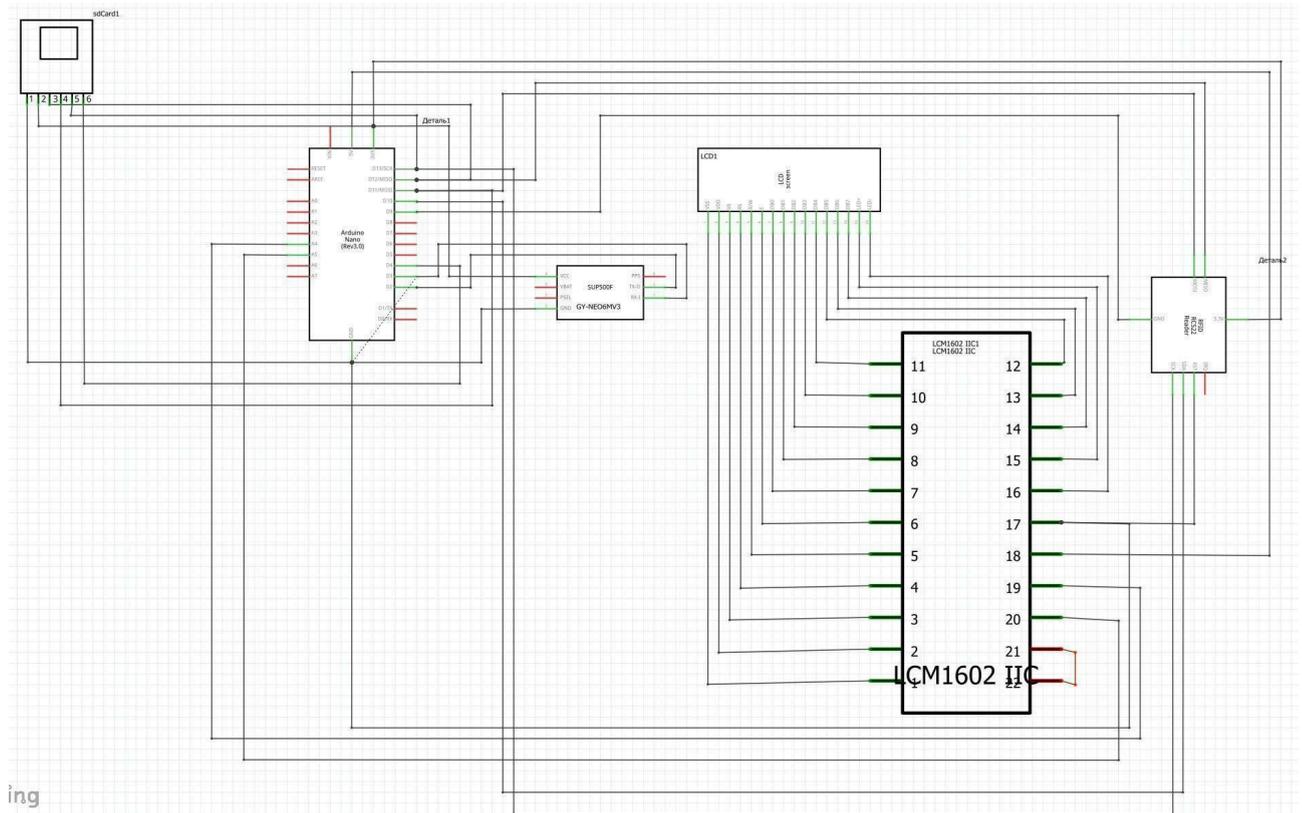


Рис. 2.10. Схема з'єднань

Використання I2C-розширення для підключення дисплея [15], а також SPI-шини для з'єднання RFID-зчитувача та SD-карти, сприяло мінімізації кількості проводів, що полегшує монтаж та знижує ймовірність помилок при збиранні пристрою (рис.2.11). Такий підхід є особливо важливим для компактних пристроїв, що працюють у обмеженому просторі салону транспорту.

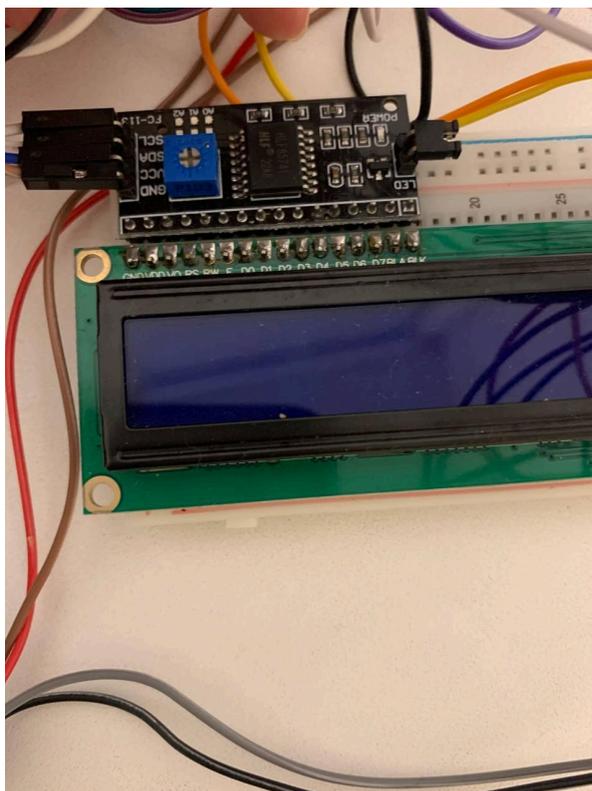


Рис. 2.11. LCD-дисплей та I2C розширювач портів

Як видно на рис. 2.12, живлення системи передбачає можливість підключення як через стандартний microUSB-інтерфейс, так і за допомогою зовнішніх джерел енергії, таких як портативні акумулятори (powerbank). Це забезпечує автономну роботу пристрою протягом тривалого часу, що є ключовою вимогою для експлуатації у транспортному середовищі. У перспективі можливе впровадження додаткових джерел живлення, зокрема акумуляторних блоків з функцією підзарядки, а також альтернативних рішень на основі сонячної енергії, що сприятиме підвищенню екологічної стійкості та автономності системи.



Puc. 2.12. Micro USB Type-B

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

3.1. Реалізація апаратної частини системи

Реалізація апаратної частини інформаційної системи моніторингу пільгових місць у громадському транспорті передбачала створення фізичної моделі пристрою, що здатна працювати в умовах реального середовища — зокрема, у салоні громадського транспорту. На цьому етапі проекту основна увага була приділена складанню всіх необхідних компонентів у єдину функціональну систему, забезпеченню їхньої стабільної взаємодії, а також відповідності обраної конструкції технічним та ергономічним вимогам.

Одним з ключових етапів підготовки апаратної частини стало ретельне проектування схеми з'єднань усіх компонентів (рис.2.1.). Хоча кожен окремий модуль — GPS, RFID, дисплей, карта пам'яті тощо — має власні інтерфейси взаємодії з мікроконтролером, важливою задачею було досягнення узгодженості їхньої роботи в межах спільного ресурсу — обчислювальної платформи Arduino Nano, яка має обмежену кількість цифрових та аналогових входів/виходів. Саме тому обиралися ті модулі, які використовують поширені стандартизовані протоколи обміну даними (SPI, I2C, UART), що дозволило організувати паралельну та безконфліктну роботу пристрою навіть при обмежених апаратних ресурсах.

Фізичне складання пристрою виконувалося на макетній платі (breadboard), яка слугувала зручним середовищем для тестування різних конфігурацій з'єднань без потреби у пайці. Це дало можливість експериментувати із розташуванням компонентів з метою оптимізації довжини провідників, зменшення електромагнітних завад, а також забезпечення механічної надійності всієї конструкції. Зокрема, модуль GPS розташовувався якомога ближче до зовнішнього краю плати для покращення умов прийому супутникового сигналу, а LCD-дисплей — у візуально доступному місці для водія чи пасажирів.

Модуль RFID-RC522 підключено до Arduino Nano за допомогою протоколу SPI[10], який забезпечує високу швидкість передавання даних і мінімальні затримки під час зчитування RFID-карт. При цьому окрему увагу було приділено правильному підключенню сигналів MOSI, MISO, SCK і SS, які мають сувору відповідність до пінів мікроконтролера. Для надійної роботи модуля була використана зовнішня антена, що дозволила забезпечити стійке зчитування карток навіть у динамічному середовищі.

LCD-дисплей на базі шини I2C було підключено з використанням порт-розширювача (модуля на базі контролера PCF8574), що дозволило скоротити кількість використовуваних цифрових пінів до двох (SDA та SCL). Це не лише оптимізувало ресурс Arduino Nano, але й спростило схему підключення та забезпечило більш компактне фізичне компонування. Аналогічно, модуль GPS (GY-GPS6MV2) був з'єднаний із мікроконтролером через програмну реалізацію послідовного порту (SoftwareSerial), що надало гнучкість у виборі пінів та уникнення конфліктів із апаратним UART.

Окремо варто зупинитися на модулі зчитування та збереження даних — MicroSD Card Adapter. Його використання продиктовано необхідністю зберігати отриману інформацію у вигляді лог-файлів, що містять ID-картки, координати, а також часову мітку. Передача даних до карти пам'яті здійснюється також за допомогою протоколу SPI, тому в схемі передбачено дотримання ізоляції SPI-пристроїв шляхом чергування сигналу CS (chip select) для кожного модуля (RC522 і SD-адаптера). У зв'язку з цим проводилося налаштування правильних черговостей активації пристроїв, щоб уникнути одночасного доступу до SPI-шини з боку кількох модулів.

Живлення системи було організоване через порт microUSB Arduino Nano, як показано на рис.2.11, що дозволяє як жити пристрій від комп'ютера під час налагодження, так і використовувати автономні джерела живлення, наприклад, павербанки. Це забезпечує гнучкість у виборі середовища для тестування та реальної експлуатації. Надалі передбачається можливість впровадження більш

надійного та довготривалого джерела живлення — наприклад, акумуляторного блоку з можливістю зарядки через сонячні панелі.

У результаті виконаної роботи було створено функціональний фізичний прототип пристрою, що відповідає всім заданим критеріям проєкту: компактність, мобільність, енергоефективність та стабільність у роботі. Реалізація апаратної частини системи стала основою для подальшої програмної інтеграції модулів і проведення повномасштабного тестування в лабораторних та напівпольових умовах..

3.2. Реалізація програмного забезпечення

У цьому підрозділі розглянуто процес розробки програмного забезпечення для інформаційної системи моніторингу пільгових місць у громадському транспорті. Розробка програмного забезпечення є критично важливим етапом у створенні будь-якої інтегрованої апаратно-програмної системи, оскільки саме програмна логіка забезпечує координацію та взаємодію між фізичними компонентами пристрою.

Розробку було здійснено із дотриманням принципів структурованого програмування, модульності, а також відповідно до базових норм побудови вбудованих систем на основі мікроконтролера Arduino[11]. Було поставлено завдання не лише реалізувати функціонал збору й обробки даних, а й забезпечити достатню стабільність, надійність та зрозумілість системи для подальшої підтримки та масштабування.

На початковому етапі розробки була визначена доцільність логічного поділу програмного коду на окремі функціональні блоки, що спрощує процес налагодження та розширення системи. Такий підхід відповідає принципам гарної практики програмування в середовищах з обмеженими ресурсами.

До основних блоків програми належать:

- ініціалізація всіх підключених модулів;
- зчитування RFID-картки;
- отримання координат з GPS-модуля;

- збереження інформації на карту пам'яті у вигляді логів;

Таким чином, забезпечується логічна ізоляція відповідальностей кожного функціонального модуля, що суттєво знижує ймовірність появи неочікуваних помилок.

Усі використовувані модулі мають підтримку у вигляді бібліотек, які реалізують необхідні низькорівневі протоколи (SPI, I2C, UART)[12] та абстрагують програміста від складних апаратних деталей. Такий підхід дозволяє зосередитись безпосередньо на бізнес-логіці системи, а не на реалізації протоколів передачі даних (рис.2.9).

Далі оголошуються змінні, які репрезентують модулі (рис.3.1):

```
18  const int maxSeats = 4;  
19  int freeSeats = maxSeats;  
20  String uids[maxSeats];  
21  int currentIndex = 0;
```

Рис. 3.1. Оголошення змінних

Вибір бібліотек ґрунтувався на їхній стабільності, поширеності та позитивному досвіді використання в аналогічних проектах, а також широкій підтримці спільноти розробників.

Функція `setup()` є першочерговою точкою входу (рис.3.2), де здійснюється налаштування початкового стану системи. У ній відбувається конфігурація інтерфейсів вводу/виводу, ініціалізація дисплею, запуск послідовного порту, а також первинна перевірка наявності SD-карти.

```

23 void setup() {
24     Serial.begin(9600);
25     lcd.begin(16, 2);
26     lcd.backlight();
27     SPI.begin();
28
29     pinMode(RFID_SS_PIN, OUTPUT);
30     pinMode(SD_CS_PIN, OUTPUT);
31
32     digitalWrite(RFID_SS_PIN, LOW);
33     digitalWrite(SD_CS_PIN, HIGH);
34
35     rfid.PCD_Init();
36     gpsSerial.begin(9600);
37
38     // Ініціалізація SD-карти
39     digitalWrite(RFID_SS_PIN, HIGH);
40     digitalWrite(SD_CS_PIN, LOW);
41     if (!SD.begin(SD_CS_PIN)) {
42         Serial.println("SD init failed!");
43     } else {
44         Serial.println("SD init success!");
45     }
46     digitalWrite(SD_CS_PIN, HIGH);
47     digitalWrite(RFID_SS_PIN, LOW);
48
49     lcd.print("Free Seats: ");
50     lcd.print(freeSeats);
51 }

```

Рис. 3.2. Функція setup()

Особливу увагу варто звернути на використання затримки після ініціалізації - вона дозволяє користувачу встигнути прочитати поточний статус системи на дисплеї, що підвищує ергономіку взаємодії.

Основний цикл виконується безперервно (рис.2.7). Його задача - реагувати на появу RFID-картки та здійснювати повний цикл дій: зчитування ID, фіксація координат, відображення та збереження даних. Код реалізований з урахуванням умовного блокування: якщо немає картки, подальші дії не виконуються, що економить ресурси.

3.3 Взаємодія компонентів інформаційної системи

У контексті побудови функціонально завершених та архітектурно узгоджених технічних рішень, особливо в межах розробки вбудованих

інформаційно-аналітичних систем, важливу роль відіграє коректно спроектована модель взаємодії між апаратними та програмними компонентами. Саме ця взаємодія, будучи центральним елементом архітектурної структури, забезпечує не лише стабільність функціонування, а й уможливорює масштабування, відлагодження та подальшу модернізацію розробленої системи.

В основі взаємодії між модулями системи моніторингу пільгових місць у громадському транспорті лежить принцип чіткого розподілу обов'язків (separation of concerns), що передбачає максимальне розмежування функціональностей за призначенням та навантаженням. Таким чином, кожен модуль виконує строго визначену роль, а ефективна комунікація між ними досягається завдяки використанню стандартизованих інтерфейсів обміну даними, таких як I2C, SPI та програмний UART.

3.3.1 Архітектурна схема та комунікаційні протоколи

У зв'язку з фізичними та логічними обмеженнями апаратної платформи Arduino Nano, доцільність оптимального розподілу портів вводу/виводу постає як питання першочергової важливості. Зважаючи на обмежену кількість доступних цифрових та аналогових пінів, було прийнято низку інженерно обґрунтованих рішень щодо використання мультиплексованих шин передачі даних. Основні з них наведено нижче:

1. **I2C** - використовується для взаємодії із дисплейним модулем, зокрема LCD 1602 із вбудованим розширювачем портів. Даний протокол, реалізований за допомогою пінів A4 та A5, дозволяє знизити кількість необхідних з'єднань, що значно полегшує схему збирання.
2. **SPI** - високошвидкісний синхронний інтерфейс, що застосовується як для RFID-зчитувача типу RC522, так і для SD-адаптера. Незважаючи на спільність ліній MOSI, MISO та SCK, використання різних пінів для сигналів "Slave Select" (SS) забезпечує незалежність у керуванні кожним підключеним пристроєм.

3. **SoftwareSerial** – дозволяє створити додатковий програмно реалізований UART, що є актуальним у випадках, коли апаратний послідовний порт використовується для відлагодження або вже зайнятий іншими пристроями. Саме через цей канал відбувається зчитування даних з GPS-модуля.

Таблиця 3.1

Підключення модулів до Arduino Nano

№	Компонент	Інтерфейс	Виводи Arduino Nano	Призначення
1	LCD 1602 +I2C	I2C(Wire)	A4(SDA), A5(SCL)	Виведення користувачької інформації
2	RFID RC522	SPI	D10(SS),D11,D12 ,D13	Зчитування UID з RFID-міток
3	AdapterSD	SPI	D8(SS),D11,D12, D13	Збереження журналу на карту пам'яті
4	GPS-модуль	SoftwareSerial 1	D3(TX),D4(RX)	Отримання координат через UART

3.3.2 Алгоритмічна послідовність взаємодії

Процес обміну інформацією між компонентами реалізований у вигляді ітеративного циклу, що ґрунтується на принципах подіє-орієнтованого програмування та модульної інкапсуляції логіки.

Загальна логіка функціонування системи охоплює низку взаємозалежних етапів:

- ініціалізація здійснюється конфігурація кожного модуля: ініціалізуються SPI та I2C шини, створюється об'єкт SoftwareSerial, перевіряється наявність підключених пристроїв;
- моніторинг стану RFID-зчитувача цикл loop() виконує постійний опит модуля RC522 на предмет наявності нової мітки. Після виявлення виконується процедура зчитування UID;

- отримання геоданих координати широти та довготи регулярно зчитуються з GPS-модуля, при цьому верифікація здійснюється шляхом перевірки наявності валідних даних у реченнях NMEA (зокрема \$GPGGA);
- візуалізація інформації UID зчитаної картки та координати (або повідомлення про помилку) виводяться на LCD-дисплей, що дає можливість швидкого візуального контролю;
- збереження інформації після перевірки на валідність отримані дані записуються у файл log.csv на SD-карту. Форматування запису виконується з дотриманням CSV-структури;

Цей механізм забезпечує цілісність процесу збору, обробки, збереження та виведення інформації в режимі реального часу. Завдяки використанню модульного підходу, реалізація алгоритму має високу читабельність, гнучкість і придатність до масштабування.

3.3.3 Аспекти взаємодії з користувачем

Завдяки застосуванню LCD-дисплея з інтерфейсом I2C досягається одночасно два критично важливі ефекти: зменшення апаратної складності за рахунок зниження кількості з'єднань із мікроконтролером та забезпечення достатньо інформативного інтерфейсу для оператора. У межах концепції людино-машинної взаємодії дисплей виконує роль інтерпретатора внутрішнього стану системи, передаючи ключову інформацію у зрозумілому вигляді.

Повідомлення на екрані змінюються динамічно відповідно до поточного стану системи: у момент завантаження виводиться повідомлення про ініціалізацію пристрою, під час зчитування RFID-мітки відображається UID пасажера, а також кількість зайнятих і вільних пільгових місць у транспортному засобі. Це дозволяє водію або контролеру оперативно реагувати на зміну ситуації без необхідності взаємодії з іншими частинами системи.

У майбутньому можливе вдосконалення інтерфейсу за рахунок впровадження графічного дисплея або реалізації звукових сповіщень, що

підвищить доступність інформації та загальний комфорт користування системою.

3.4. Перевірка роботи системи на тестових даних

Після завершення етапів розробки та інтеграції всіх функціональних компонентів розробленої інформаційної системи, наступним логічним кроком у реалізації стало проведення всебічної, глибокої, комплексної процедури перевірки її працездатності, функціональної цілісності, узгодженості взаємодії між структурними елементами, а також ефективності в умовах, наближених до експлуатаційних. Це надзвичайно важливий етап, оскільки саме в процесі практичного тестування проявляються слабкі місця реалізації, приховані баги, нестабільність роботи у граничних сценаріях та інші потенційні загрози цілісності системи.

З точки зору методології інженерії програмного забезпечення, етап тестування є невід'ємною складовою життєвого циклу інформаційної системи, що реалізується у вигляді систематичного, формалізованого процесу, спрямованого на виявлення та усунення помилок шляхом симуляції реального користувацького досвіду та відтворення різноманітних сценаріїв використання, у тому числі й таких, що знаходяться на межі функціональних можливостей системи. У цьому контексті проведення тестування дозволяє забезпечити відповідність реалізованого продукту попередньо визначеним функціональним і нефункціональним вимогам, що є основою для формування висновків щодо придатності продукту до подальшого впровадження.

Процес тестування реалізованої системи був структурований у кілька етапів, кожен з яких мав чітко визначену мету, вхідні умови, критерії успішності та очікувані результати. Це дозволило зберігати високий рівень організованості, відтворюваності та об'єктивності на всіх фазах перевірки. Методологічно було прийнято рішення дотримуватися принципів ієрархічного тестування: від окремих модулів до повністю інтегрованої системи.

Ключовими етапами тестування стали:

- модульне тестування (unit testing): забезпечення правильності роботи окремих апаратних компонентів (GPS, SD-карта, LCD, RFID-модуль);
- інтеграційне тестування: перевірка взаємодії між модулями в реальному часі та передача даних між ними без втрат чи затримок;
- системне тестування: оцінка роботи всієї системи в сукупності під час виконання конкретних задач (зчитування UID, фіксація координат, виведення інформації, збереження даних);
- тестування на стійкість (robustness testing): аналіз поведінки системи у випадках відмов модулів, втрати сигналу, пошкодження SD-карти тощо;

Тестові сценарії були побудовані із дотриманням методології чорної скриньки, що дозволяє зосередитись на вхідних та вихідних параметрах без заглиблення в реалізаційні аспекти. Такий підхід був обраний у зв'язку з потребою оцінити систему з погляду кінцевого користувача, а не розробника.

3.4.1 Аспекти взаємодії з користувачем

За підсумками всебічного тестування можна стверджувати, що розроблена інформаційна система володіє достатнім рівнем надійності для впровадження у дослідну експлуатацію. Усі критичні компоненти — включно з обробкою введення, збереженням даних, їхнім відображенням і комунікацією між модулями — продемонстрували стабільну роботу.

Окрім цього, системна архітектура дозволяє масштабування — наприклад, можливе розширення кількості зчитувачів або додавання GSM-модуля для передачі даних на сервер у реальному часі. Це відкриває нові горизонти для майбутніх досліджень та вдосконалення.

У ході виконання роботи було розроблено та протестовано програмно-апаратний комплекс для автоматичного моніторингу пільгових місць у громадському транспорті на базі Arduino Nano. Система успішно реалізує зчитування RFID-карток, відстеження GPS-координат, відображення інформації на LCD-дисплеї та збереження даних на SD-карту. Під час тестування виявлено та усунуто ключові проблеми, такі як нестабільність GPS-сигналу та помилки

обробки RFID-карток. Для подальшого вдосконалення запропоновано впровадження бездротового зв'язку (Wi-Fi/GSM) та інтеграцію з хмарними сервісами для централізованого збору даних. Створене рішення є ефективним, масштабованим і готовим до впровадження, а також має потенціал для розширення функціоналу.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було реалізовано повний цикл розробки та тестування прототипу вбудованої інформаційної системи для моніторингу пільгових місць у громадському транспорті, яка базується на мікроконтролері Arduino Nano та периферійних модулях.. Проєкт охоплює всі ключові етапи — від постановки задачі та аналізу предметної області до безпосередньої технічної реалізації апаратного і програмного забезпечення, а також перевірки функціональності системи на тестових даних у умовах, наближених до реальних.

Реалізовано проєктування та архітектуру створеної системи, включаючи як логічні, так і фізичні аспекти її побудови. Наведено обґрунтування вибору компонентної бази на основі техніко-економічного аналізу, враховано обмеження щодо енергоспоживання, габаритів, сумісності та вартості. У межах опису структурної та програмної архітектури акцент зроблено на модульному підході, що забезпечує гнучкість, масштабованість та зручність подальшого обслуговування системи. Значну увагу було приділено опису комунікацій між компонентами через SPI, I2C та UART-протоколи, що в сукупності формують ефективну модель взаємодії апаратних засобів на обмежених ресурсах мікроконтролера. У результаті виконано всі поставлені завдання, досягнуто мету дослідження, а сама система продемонструвала свою працездатність та практичну значущість у контексті вирішення проблеми моніторингу пільгових місць у громадському транспорті..

Розглянуто алгоритмічну логіку основного програмного коду, що реалізує взаємодію з RFID-зчитувачем, GPS-модулем, SD-картою та дисплеєм. Надано детальний опис функціональних блоків коду з поясненням їхньої ролі в загальній логіці роботи пристрою. Проведено апробацію системи на тестових даних із метою перевірки коректності зчитування, збереження та виведення інформації. Результати підтверджують функціональність проєкту в умовах, наближених до реального середовища експлуатації, що свідчить про відповідність розробленого рішення поставленим вимогам..

У цілому, розроблена система демонструє перспективність для подальшого впровадження у практику моніторингу пасажирських перевезень у громадському транспорті, зокрема в частині автоматизованого обліку пільгових категорій громадян. Завдяки використанню доступної та енергоефективної елементної бази, система характеризується високим рівнем автономності, простотою обслуговування та можливістю масштабування з урахуванням особливостей конкретного транспортного середовища. Отримані результати підтверджують практичну значущість розробки, що полягає у її потенціалі для реального використання в умовах сучасної транспортної інфраструктури. Доцільним є подальший розвиток цього проекту шляхом інтеграції з централізованими обліковими платформами або мобільними додатками, що дозволить вийти на новий рівень цифровізації транспортної інфраструктури в Україні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. European Transport Research Review. SpringerOpen URL: <https://etr.r.springeropen.com/>(дата звернення: 01.06.2025).
2. Oyster card TRANSPORT FOR LONDON Photocard schemes. URL:<https://tfl.gov.uk/corporate/publications-and-reports/oyster-card>(дата звернення: 01.06.2025).
3. Robotics, AI, and Humanity : Science. Unistra. URL:<https://bu.unistra.fr/opac/resource/robotics-ai-and-humanity-science-ethics-and-policy/BUS05625477>(дата звернення: 01.06.2025).
4. Сімейство Arduino Nano. ЕВОКОМ.ЮА. URL: https://evo.net.ua/simeistvo-arduino-nano/?srsltid=AfmBOoo-hl2PG_XPHfTWgu5qIdVB7W3Kc_F3tvV2n32SE77YM3UtJ_6_ (дата звернення: 01.06.2025).
5. Проект 28: Зчитувач RFID на прикладі RC522. Принцип роботи, підключення. ArduinoPtng. URL: <https://arduino.ptngu.com/chapters/28/index.html>(дата звернення: 01.06.2025).
6. DGPS-приемник GY-GPS6MV2 на базі чипа Ublox NEO-6M. Mini-Tech. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/gps-priemnik-gy-gps6mv2> (дата звернення: 01.06.2025).
7. LCD дисплеї: різновидів багато, принцип дії - один. DM ТЕХНІКА. URL: <https://vmtehnika.com.ua/blog/lcd-displeyi-riznovidiv-bagato-princip-diyi-odin?srsltid=AfmBOor35-rC1f4nimSVioaNJQFCcCVQhDEfwg44PPmJGSfCBDa-JESw> (дата звернення: 01.06.2025).
8. Модуль microSD Card и модуль SD Card, подключение к Ардуино. Ардуіно для початківців. URL:https://www.youtube.com/watch?v=QVkTGXmgpno&ab_channel=%D0%90%D1%80%D0%B4%D1%83%D0%B8%D0%BD%D0%BE%D0%B4%D0%BB%D1%8F%D0%BD%D0%B0%D1%87%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B8%D1%85(дата звернення: 01.06.2025).

9. Що таке Arduino?. Hardware libre.
URL: <https://www.hwlibre.com/uk/що-таке-ардуїно/> (дата звернення: 01.06.2025).
- 10.SPI Інтерфейс. ІТ MASTER.
URL:<https://itmaster.biz.ua/directory/standarts/spi.html>(дата звернення: 01.06.2025).
- 11.Arduino Nano: все, що вам потрібно знати про цю плату розробки. Hardware libre.
URL: <https://www.hwlibre.com/uk/arduino-nano/> (дата звернення: 20.05.2024).
- 12.Бібліотека SoftwareSerial. Arduino.ua.
URL:<https://doc.arduino.ua/ru/prog/SoftwareSerial>(дата звернення: 01.06.2025).
- 13.Історія технологій Какао Mobility, яка змінює життя. Какао Mobility.URL:<https://www.kakaomobility.com/>(дата звернення: 01.06.2025).
- 14.Петін В.В. Біяковський А.А. Практична енциклопедія Arduino. ДМК - Прес, 2019. 27с.
- 15.Денисюк В.О., Цирульник С.М. Мікропроцесорні системи. Вінниця: ТВОРИ. 2021. 71с.